

Дистанционное зондирование сред

УДК 621.396.96:504.064

ПАССИВНО-АКТИВНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА АКУСТИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Булкин Владислав Венедиктович

доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности Муромского института (филиала) ФГБОУ ВПО "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых".

E-mail: lwb@mivlgu.ru.

Адрес: 602264, г. Муром, ул. Орловская, 23.

Кириллов Иван Николаевич

инженер открытого акционерного общества «Муромский завод радиоизмерительных приборов»
Адрес: 602267, г. Муром, Карачаровское шоссе, 2.

Аннотация: В статье рассматривается пассивно-активная система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне. Обоснована структурная схема рассматриваемой системы, включающая канал получения информации о самом акустическом шуме (пассивный канал), канал получения метеорологической информации (активный канал), систему позиционирования и вычислительное устройство. Метеорологическая информация включает данные о температуре, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для организации распределённой сети мониторинга предусмотрен приёмопередающий модуль, обеспечивающий обмен информацией с центральным сервером.

Ключевые слова: анализатор спектра, метеорологические параметры, процессор, акустический шум, коэффициент затухания.

Введение

Радиофизические методы зондирования широко применяются при решении сугубо утилитарных задач жизнеобеспечения человека, например, при осуществлении экологического мониторинга территорий природного и техногенного характера.

Среди главных экологических опасностей большого города третье по важности место занимает акустическое загрязнение. Многочисленные исследования показывают, что акустический шум оказывает существенное неблагоприятное воздействие на психологическое и биологическое здоровье человека, состояние социальной среды [1-3]. В силу указанных причин создание систем мониторинга

акустического загрязнения на селитебных территориях является актуальной задачей.

В статье рассматривается пассивно-активная система мониторинга локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне.

Постановка задачи

Проведение экологического мониторинга подразумевает реализацию двух основных его составляющих – наблюдения и контроля. В соответствии с положениями ГОСТ Р 22.1.02-95 [4] под наблюдением понимается определение параметров, характеризующих состояние окружающей среды, а под контролем – сопо-

ставление полученных данных с установленными критериями.

Исходя из этого, можно сделать вывод: любая система радиофизического мониторинга должна содержать такие основные элементы, как измерительный канал (каналы при контроле совокупности параметров) и систему анализа полученных данных. Кроме того, такая система может содержать ряд других компонентов, определяемых особенностями самой системы мониторинга.

Применительно к рассматриваемой системе мониторинга акустического загрязнения селитебных территорий, очевидно, что измерение уровня шума обеспечивается пассивным измерительным каналом, реализованным на принципе приёма, усиления и соответствующей обработки акустического сигнала.

Для правильной оценки действительного уровня шума и его возможного влияния на окружающую среду очень важно с высокой долей вероятности определить уровень затухания звука на местности, поскольку это обеспечит возможность выработки прогноза распространения его вглубь селитебных территорий.

Затухание звука чистого тона в свободном пространстве (атмосфере) характеризуется коэффициентом затухания, зависимым не только от факторов окружающей среды, но и от физических характеристик шума.

Зависимость коэффициента затухания звука в атмосфере от внешних условий можно представить следующим образом

$$\alpha = \Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n) + S, \quad (1)$$

где $\Phi_n(\vec{I}_n, \vec{T}_n, \vec{H}_n, \vec{P}_n, \vec{V}_n)$ – фактор коэффициента затухания звука в атмосфере; \vec{I}_n – вектор параметров звука, $\vec{I}_n = \{F, A\}$, F – частота, A – амплитуда (мощность) сигнала; \vec{T}_n – вектор параметра температуры воздуха; \vec{H}_n – вектор параметра влажности воздуха; \vec{P}_n – вектор параметра атмосферного давления; \vec{V}_n – вектор параметров ветра, $\vec{V}_n = \{N, c\}$, N – направление ветра, c – скорость ветра; S –

параметр среды (особенности местности, здания, растительные насаждения).

Оценить возможное влияние метеорологических параметров на характер распространения акустического сигнала можно по изменению коэффициента затухания

$$A_{атм} = \frac{\alpha d}{1000}, \quad (2)$$

где d – расстояние.

Оценка влияния метеорологических параметров на распространение звука в среде была дана в [5,6] посредством моделирования. При этом учитывались три основных параметра: температура, влажность и давление. Анализ проводился без учёта влияния стационарных параметров среды (экраны, поглотители и пр.), а так же без учёта влияния вектора параметров ветра \vec{V}_n . По результатам моделирования можно сделать вывод, что наибольшее влияние на затухание сигнала оказывает изменение температуры окружающей среды: изменение параметра \vec{T}_n в пределах от -20 °C до $+30$ °C приводит к изменению $A_{атм}$ в пределах от 29,4 дБ/км до 170,5 дБ/км на частоте 10 кГц.

Таким образом, система должна строиться на совмещении двух видов информации: экологической, характеризующей саму шумовую обстановку, и метеорологической. Метеорологическая информация включает данные о температуре окружающей среды, влажности и давлении в воздушной среде, а также о скорости и направлении ветра. Для получения данных о параметрах ветра используется т.н. активный канал, реализованный на принципе активной локации, т.е. излучении зондирующего сигнала, приёме сигнала отражённого и соответствующей его обработке. Кроме того, должны быть учтены и конкретные условия географического расположения точки контроля, а также предусмотрена возможность передачи информации на базовый сервер [7].

Структурная схема системы представлена на рис. 1.

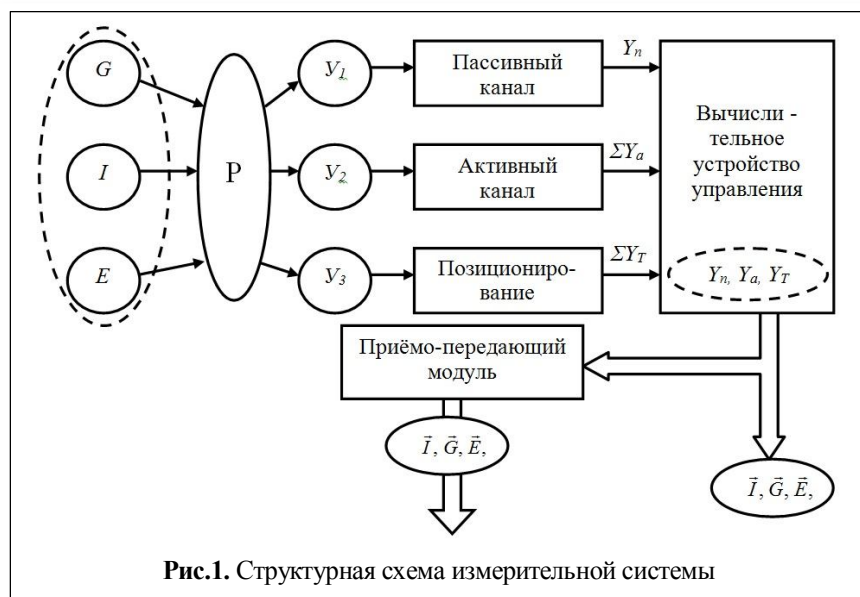


Рис.1. Структурная схема измерительной системы

$\Phi_2(\vec{I}_a, \vec{G}_a, \vec{E}_a, t)$ - сигнал, пропорциональный среднему значению амплитуды принимаемого сигнала акустолокатора;
 $\Phi_3(\vec{G}_T, \vec{E}_T, t)$ - совокупность сигналов, соответствующая группе параметров обстановки; ξ - мешающий шум; t - время.
 P - оператор, устанавливающий функциональную связь между векторами G, I, E и сигналами Y_a, Y_n и Y_T , поступающими на вход измерителей.

С учётом разнообразных факторов, влияющих на качество работы системы, введены три группы параметров [8]: G - вектор параметров обстановки, $G = \{a_1, a_2, \dots, a_\mu\}$; I - вектор информационных параметров, $I = \{b_1, b_2, \dots, b_m\}$; E - вектор мешающих (неинформативных) параметров, $E = \{\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_\nu\}$.

Выходные сигналы приёмника пассивной части и акустолокатора, а также сигналы, несущие информацию о характеристиках позиционирования системы могут быть представлены в виде:

$$Y_n = \Phi_1(\vec{I}_n, \vec{G}_n, \vec{E}_n, t) + \xi_t, \quad (3)$$

$$Y_a = \Phi_2(\vec{I}_a, \vec{G}_a, \vec{E}_a, t) + \xi_t, \quad (4)$$

$$Y_T = \Phi_3(\vec{G}_T, \vec{E}_T, t) + \xi_t, \quad (5)$$

где $\Phi_1(\vec{I}_n, \vec{G}_n, \vec{E}_n, t)$ - сигнал, пропорциональный средней мощности принятого акустического сигнала;

Реализация пассивного канала

Стандартный шумомер, обычно используемый для контроля акустического шума, фактически представляет собой микрофонный датчик и вольтметр, снабжённый электрическими фильтрами для измерения уровней звукового давления в октавных или третьоктавных полосах частот, индикатор которого отградуирован в децибелах.

Такой принцип измерения заведомо вносит определённую погрешность, поскольку любой вольтметр независимо от того аналоговый он или цифровой, показывает усреднённое значение напряжения (амплитуды) в измеряемой полосе частот ряда R10 (ГОСТ Р 53188.1-2008).

Функциональная схема пассивного канала системы приведена на рис. 2.

Устройство представляет собой пассивный

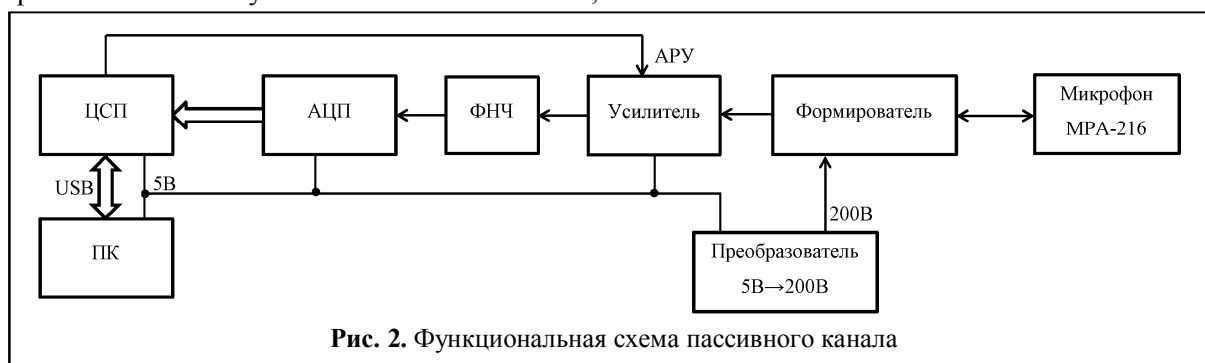


Рис. 2. Функциональная схема пассивного канала

измерительный канал, который состоит из: конденсаторного микрофона с микроэлектронным предусилителем заряда; формирователя; преобразователя напряжения; регулируемого усилителя с возможностью автоматической регулировки усиления (АРУ); фильтра низких частот (ФНЧ); аналого-цифрового преобразователя (АЦП); цифрового сигнального процессора (ЦСП) с интерфейсом USB и персонального компьютера (ПК) [9].

Микрофон МРА-216 – конденсаторный, с встроенным микроэлектронным предусилителем заряда. Формирователь преобразует высокоимпедансный зарядовый сигнал с микрофонного датчика в низкоимпедансное напряжение для последующей передачи и обработки. Усилитель имеет функцию АРУ, которая управляется посредством ЦСП, что позволяет значительно расширить динамический диапазон измерений. Для защиты полезного сигнала от высокочастотных помех применён ФНЧ. Центральный сигнальный процессор, кроме того, обеспечивает обработку данных, полученных с выхода АЦП.

Имеется возможность работы как от внешнего источника питания, так и от USB-порта компьютера.

Главное достоинство устройства в сравнении со стандартной схемой измерения шумомером заключается в том, что переход от амплитудно-временной характеристики к амплитудно-частотной реализуется на аппаратном уровне алгоритмом быстрого преобразования Фурье (БПФ). Использование БПФ даёт возможность наблюдать и отслеживать не средние значения в заданной полосе частот, как это и происходит в стандартных шумомерах, а узкополосные амплитудные всплески на различных частотах, зачастую находящихся на краях октавного диапазона. Кроме того, рассматриваемый измерительный канал позволяет с большей, чем в стандартной схеме, точностью определить значения частоты и амплитуды пиков.

Активный канал

Основу активного канала составляет акустолокатор. Для измерения скорости ветра достаточно широко применяется метод, основанный

на измерении доплеровского сдвига частоты сигнала, рассеянного на движущихся под действием ветра неоднородностях атмосферы. Другой возможный вариант основывается на методе прямого акустического канала, состоящего из источника(ов) и одного или нескольких приёмников акустического сигнала. Датчик (антенная система) активного канала может строиться по принципу излучения сигнала в трёх или двух направлениях, с последующим сложением векторов профилей составляющих скорости ветра при последовательном переключении каждого из элементов в режим передача или приём.

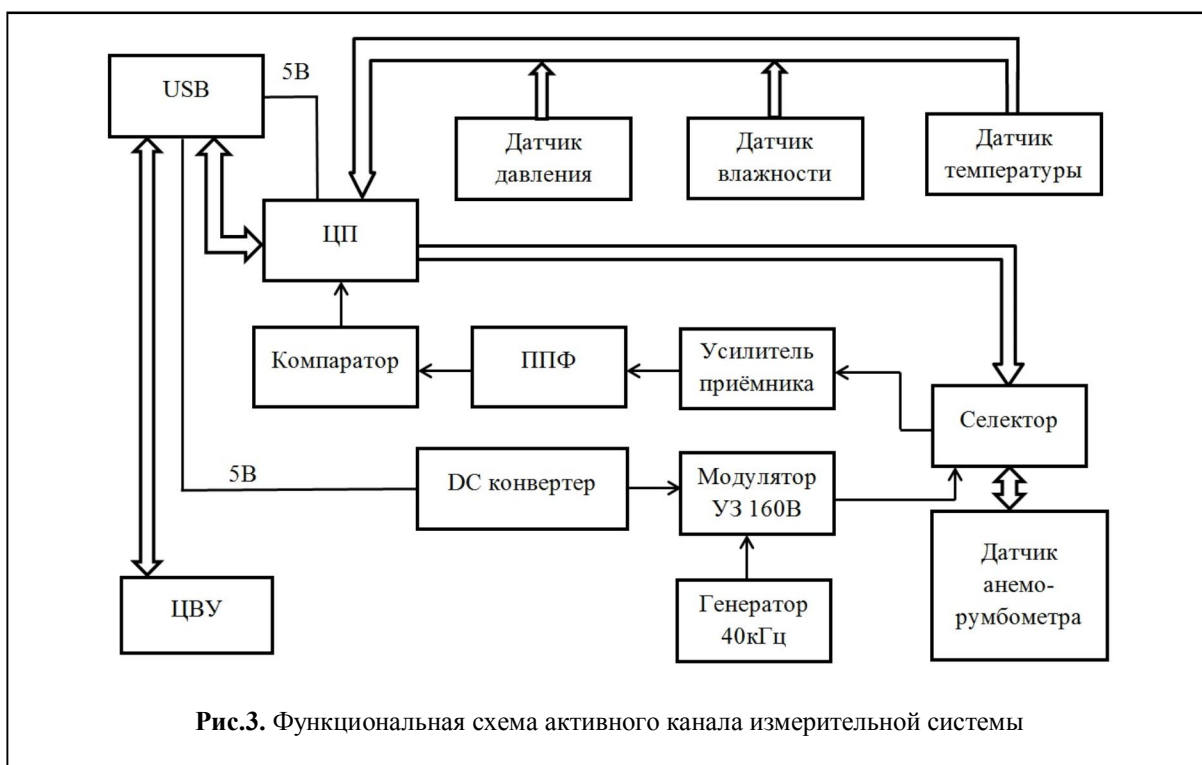
На рис. 3 показана функциональная схема активного канала измерительной системы.

Функционально канал состоит из двух измерительных трактов: тракт для измерения состояния среды и тракт для измерения параметров движения воздушных масс (анеморумбометр).

Измерительный тракт состояния среды состоит из набора датчиков и обеспечивает канал информацией о температуре и влажности воздуха, атмосферного давления. Измерительные датчики передают информацию на центральный процессор (ЦП) для измерения и последующей обработки.

В основе измерительного тракта для измерения движения воздушных масс лежит датчик анеморумбометра. Тракт работает следующим образом. Ультразвуковой (УЗ) сигнал частотой 40кГц и амплитудой порядка 5В, формируемый генератором, через модулятор УЗ, где усиливается до амплитуды 160В, подается на селектор. Преобразователь (DC конвертер) используется для формирования высоковольтного напряжения, необходимого для модулятора УЗ. С центрального процессора на селектор подаются управляющие команды, после чего селектор коммутирует соответствующую пару датчиков.

При измерении времени прохождения прямой волны излучатель подключается к модулятору УЗ, а приёмный датчик - к усилителю приёмника. Пришедший сигнал через усилитель приёмника и полосно-пропускающий фильтр поступает на компаратор, а тот в свою



очередь формирует соответствующий сигнал для ЦП, который и производит измерение времени прохождения звуковой волны. Далее процедура повторяется для другой пары датчиков, которые последовательным переключением попеременно выполняют функции как излучателя, так и приёмника.

После опроса всех пар датчиков ЦП вычисляет скорость и направление ветра.

Центральный процессор активного канала через шину данных USB передаёт метеорологическую информацию на центральное вычислительное устройство (ЦВУ). Устройство питается используя напряжение питания шины USB, поскольку имеет низкое энергопотребление (до 230 мА).

Вычисляемые скорости и направления ветра не зависят от высоты, температуры и влажности, которые уравниваются, когда время прохождения измеряется в обоих направлениях, хотя каждое по отдельности время прохождения сигнала зависит от этих параметров.

Средние значения скорости и направления ветра вычисляются как средние скалярные величины из всех значений за выбранный интервал осреднения (1...3600 с) с постоянным обновлением интервала. Типовой расчёт зависит

от выбранной частоты измерений: 4 Гц (по умолчанию), 2 Гц или 1 Гц. Минимальные и максимальные значения скорости и направления ветра представляются соответствующими крайними значениями за выбранный интервал осреднения. Значения скорости ветра могут быть рассчитаны двумя способами: традиционным вычислением минимальных/максимальных значений или трёхсекундным вычислением с последующим осреднением.

Позиционирование и приёмо-передающий модуль

Позиционирование системы может осуществляться любым из известных способов: посредством спутниковых технологий навигации (GPS, ГЛОНАСС), технологий локального позиционирования (инфракрасных и ультразвуковых), использованием радиочастотных меток RFID и т.д., и в данной статье не рассматривается.

Приёмо-передающий модуль представляет собой устройство для осуществления связи измерительной системы с устройством более высокого уровня, в данном случае – геоинформационной системой для измерения и

наблюдения за уровнем акустического шума (сервером).

Для работы устройства выбрана несущая частота UHF диапазона равная 433,050 - 434,790 МГц. Данная частота, из-за отсутствия мёртвых зон в условиях плотной застройки, позволяет передавать сигнал даже при использовании маломощных передатчиков. В силу таких особенностей UHF диапазон получил название "городского". Недостаток - относительно малые дальности передачи. Если создать необходимую мощность сигнала, то можно обеспечить его устойчивую трансляцию в пределах всего города. Так же на передатчик с несущей 433,050-434,790 МГц необязательна сертификация, если его параметры удовлетворяют требования стандарта по электромагнитной совместимости.

Функциональная схема приёмо-передающего модуля приведена на рис. 4.

Передаваемый сигнал через радиомодулятор поступает на радиостанцию, а затем через

системы, другой входит в состав оборудования базовой станции (сервера).

Анализ и прогнозирование.

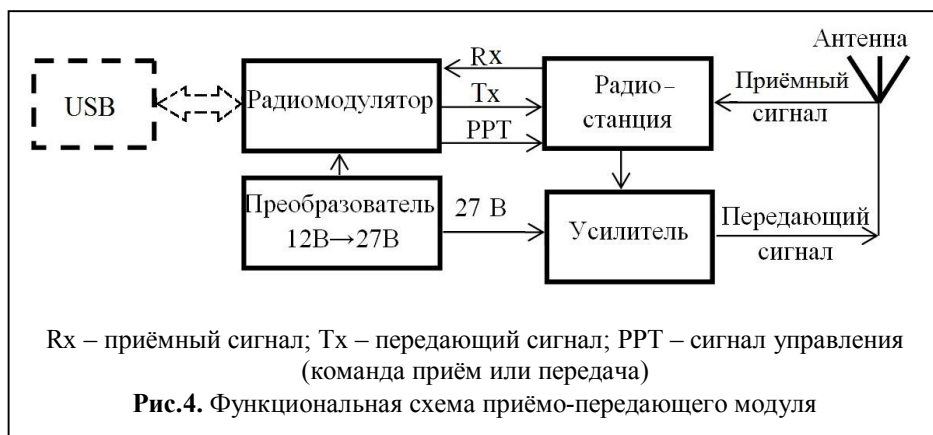
Практическая реализация системы

Реализация разработанной измерительной системы осуществлена в основном виде с использованием низкочастотного анализатора спектра на основе ZET017-U2 (пассивный канал), ультразвуковой метеостанции WXT520 Vaisala (активный канал), мобильного персонального компьютера – МПК – (ЦВУ).

Связь между устройствами и МПК осуществляется через интерфейс USB. Также МПК при помощи специализированного программного обеспечения выполняет функции управления каналами и обработки результатов измерений [11]. Программа управления разработана с использованием программного пакета ZETView, относящегося к SCADA системам и представляющего собой высокоэффективную среду графического программирования для систем сбора и обработки данных от устройств, подключенных к персональному компьютеру.

Анализ данных позволяет дать оценку коэффициента затухания (2) и получить прогноз возможного распространения шума вглубь селитебной зоны с учётом зафиксированных показателей, соответствующих конкретной территории и конкретным условиям.

На рис.5 показаны основные составляющие системы.



усилитель мощности поступает в антенну. Так же к антенне подключена радиостанция, на которую поступает принимаемый сигнал.

Усилитель мощности выполнен по LDMOS технологии [10]. Рабочий диапазон частот - 433,050-434,790 МГц, мощность - до 13 Вт. Проведена экспериментальная проверка действующего макета усилителя [10].

Для организации связи между одной измерительной системой и базовой станцией необходимо два приёмо-передающих модуля – один входит в составную часть измерительной

устройства, другой входит в состав оборудования базовой станции (сервера).

На рис.5 показаны основные составляющие системы.

Заключение

1. Разработана пассивно-активная система мониторинга акустического загрязнения локальной урбанизированной территории, обеспечивающая контроль загрязнений и прогнозирование характера их распространения в данной локальной зоне

2. Разработанная система доведена до практической реализации на уровне действующего образца, была проверена в ходе проведения натурных измерений и показала свою эффективность.

3. Система обеспечивает получение данных, позволяющих дать распределение реального акустического загрязнения территории с учётом спектра звуковых частот и реальных метеорологических условий, что облегчает принятие решений по выработке защитных мероприятий.

Литература

1. Булкин В.В., Соловьёв Л.П., Шаранов Р.В., Первушин Р.В., Кириллов И.Н. Проблемы построения систем мониторинга акустического загрязнения селитебных зон / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). – С.48-53.

2. Калининченко М.В. Некоторые аспекты проблемы загрязнения урбанизированных территорий автотранспортом (на примере города Муром) / Экология и промышленность России, декабрь 2012 г. –С.2-5.

3. Соловьёв Л.П., Булкин В.В., Шаранов Р.В. Существование человека в рамках техносферы / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012, №1(11). –С.31-39.

4. ГОСТ Р 22.1.02-95. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения. -М.: ИПК «Издательство стандартов». 1996. -10 с.

5. Булкин В.В., Кириллов И.Н. Оценка влияния метеорологических параметров на дальность рас-

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ 14-08-00186 и 12-08-43134.

Поступила 30 июня 2014 г.

пространения акустического загрязнения в селитебных зонах / Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2014, №1(19). –С.5-9.

6. Кириллов И.Н., Булкин В.В. Влияние метеорологических параметров на дальность распространения акустического шума в селитебных зонах // IV Всероссийские Армандовские чтения: Радиофизические методы в дистанционном зондировании сред / Материалы VI Всеросс. научн. конф. (Муром, 27-29 мая 2014 г.) – Муром: ИПЦ МИ ВлГУ, 2014. –С.278-281.

7. Булкин В.В., Кириллов И.Н., Беляев В.Е. Модель пассивно-активной акустолокационной эколого-метеорологической системы / Проектирование и технология электронных средств, 2011, №1. –С.16-19.

8. Булкин В.В. Акустолокационные измерительные средства систем управления воздушным движением: эффективность функционирования и направление оптимизации / Приборы и системы: управление, контроль, диагностика. 2006. -№9. -С.51-55.

9. Булкин В.В., Кириллов И.Н., Беляев В.Е. Пассивный канал пассивно-активной системы мониторинга урбанизированного пространства / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2012. – С.47-51

10. Кириллов И.Н. Усилитель мощности СВЧ на основе полевых LDMOS транзисторов нового поколения / Радиотехнические и телекоммуникационные системы, №4, 2013. –С.18-22.

11. Костров В.В., Чекушкин В.В., Булкин В.В. Сопряжение пассивно-активного радиолокатора с персональным компьютером / Измерительная техника, №6, 2000. - С.50-52.

English

Passive-active monitoring system of acoustic contamination of the local urban area

Vladislav Venediktovich Bulkin – Doctor in Engineering, Professor, Department of Technosphere Safety Murom Institute (branch) federal state budgetary educational institution of higher professional education “Vladimir State University named after Alexander and Nickolay Stoletov”.

Address: 602264, Murom, Orlovskaya st., 23.

E-mail: lwb@mivlgu.ru.

Ivan Nikolaevich Kirillov – Engineer Open Joint Stock Company «The Murom Plant of Radio Measuring Devices».

Address: 602267, Murom, Karacharovskoe Shosse, 2.

Abstract: The article deals with passive - active monitoring system of acoustic contamination of the local urban area, ensuring control of pollutions and forecasting the character of their distribution in the given local zone. The diagram of the considered system including the channel for obtaining information on the acoustic noise (the passive channel), the channel for obtaining meteorological data (active channel), position control system and computing device is justified. The meteorological data includes the data about temperature, moisture and pres-

sure in the air environment, as well as speed and wind direction. Receiving/transmitting unit ensuring communication with the central server is used for organization of the distributed network of monitoring. The central signal processor performs signal processing from the microphone sensor in the passive channel circuit. It performs the control function of automotive gain control. Observing noise implies spectral analysis made on the basis of the fast Fourier transform algorithm. Thus, narrow-band amplitude bursts at different frequencies are fixed instead of the mean amplitude values in the given frequency band. The passive channel is implemented with the use of a condenser measuring microphone MRA-216 and the portable ZET017-U2 spectrum analyzer. The active channel implemented on the principle of the active acoustic location is used for obtaining data on the wind parameters. Ultrasonic weather station WXT520 Vaisala is used for implementation of the channel. A power amplifier implemented on LDMOS technology . is developed for the receiving/transmitting unit. The system management program is developed with the help of software package of ZETView which belongs to SCADA systems. The result of the system operation is the prediction of propagation distance of an acoustic noise.

Key words: spectrum analyzer, meteorological parameters, processor, acoustic noise, attenuation factor.

References

1. *Bulkin V.V., Solovjov L.P., Sharapov R.V., Pervushin R.V., Kirillov I.N.* Problems of designing systems of settlement zones. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatelnosti*. 2014, №1(19). P.48-53.
2. *Kalinichenko M.V.* Some aspects of a problem of motor-vehicle pollution of urban areas (by the example of Murom city). *Jekologija i promyshlennost' Rossii*, December 2012. P. 2-5.
3. *Solovyov L.P., Bulkin V.V., Sharapov R.V.* The existence of a person within the technosphere. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatelnosti*. 2012, №1(11). P.31-39.
4. GOST P 22.1.02-95. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting. Terms and definitions. M.: IPK "Standards Publishing House". 1996. 10 p.
5. *Bulkin V.V., Kirillov I.N.* The effect evaluation of meteorological parameters on the propagation distance of an acoustic noise contamination in the settlement zones. *Mashinostroenie i bezopasnost' zhiznedejatelnosti*. 2014, №1(19). P.5-9.
6. *Kirillov I.N., Bulkin V.V.* The influence of meteorological parameters on the propagation distance of acoustic noise in settlement zones//IV All-Russia Armandovsky readings: Radiophysical methods in a remote sensing environments. *Materialy VI Vseross. nauchn. konf. (Murom, 27-29 May 2014.)* Murom: IPC MI VIGU, 2014. P.278-281.
7. *Bulkin V.V., Kirillov I.N., Beljaev V.E.* The model of passive-active acoustic location ecology-meteorological system. *Proektirovanie i tehnologija jelektronnyh sredstv*, 2011, №1. P.16-19.
8. *Bulkin V.V.* Acoustic location measuring devices of air-traffic control systems: efficiency and direction optimization. *Pribory i sistemy: upravlenie, kontrol', diagnostika*. 2006. №9. P.51-55.
9. *Bulkin V.V., Kirillov I.N., Beljaev V.E.* The passive channel of passive – active monitoring system of the urban area. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy*, №4, 2012. P.47-51.
10. *Kirillov I.N.* Microwave frequency power amplifier on the basis of field LDMOS transistors of a new generation. *Radiotekhnicheskie i telekommunikacionnye sistemy*, №4, 2013. P.18-22.
11. *Kostrov V.V., Chekushkin V.V., Bulkin V.V.* Conjugation of passive -active radiolocator with a personal computer. *Izmeritel'naja tehnika*, №6, 2000, P.50-52.